



OVĚŘENÍ VLASTNOSTÍ MODERNÍCH FOTOVOLTAICKÝCH ČLÁNKŮ A STAVBA FV PANELU

Bakalářská práce

Studijní program: B2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 2612R011 – Elektronické informační a řídicí systémy
Autor práce: **Daniel Albrecht**
Vedoucí práce: Ing. Pavel Jandura





REVIEW OF THE PARAMETERS OF MODERN PHOTOVOLTAIC CELLS AND DESIGN OF THE PV PANEL

Bachelor thesis

Study programme: B2612 – Electrical Engineering and Informatics
Study branch: 2612R011 – Electronic Information and Control Systems
Author: **Daniel Albrecht**
Supervisor: Ing. Pavel Jandura



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniel Albrecht**
Osobní číslo: **M10000082**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Ověření vlastností moderních fotovoltaických článků a stavba FV panelu**
Zadávací katedra: **Ústav mechatroniky a technické informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Seznamte se s principem fungování a technologiemi výroby fotovoltaických článků a proveďte rešerši v současnosti nepoužívanějších typů článků pro konstrukci FV panelů.
2. U vybraných FV článků proveďte důsledné měření V-A charakteristik a jejich výkonu při vhodně zvolených podmínkách. Porovnejte takto získané údaje s hodnotami udanými výrobcem.
3. Seznamte se s prostředím LabView a vytvořte v něm program na měření FV článků.



Rozsah grafických prací: dle potřeby dokumentace

Rozsah pracovní zprávy: 30–40 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- [1] Ďaďo, S.; Kreidel, M.: Senzory a měřicí obvody. Praha : ČVUT, druhé vydání, 1999, ISBN 80-01-02057-6.
- [2] M. Libra, V. Poulek: Fyzikální podstata fotovoltaické přeměny solární energie SVĚTLO, FCC Public s. r. o., ročník 6, číslo 1/2005
- [3] Hersch, Paul and Zweibel, Kenneth. Basic Photovoltaic Principles and Methods. Golden, Colorado : Technical Information Office, Soar Energy Research Institute, 1982. Dostupné z [www](http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/1448.pdf): <http://www.nrel.gov/docs/legosti/old/1448.pdf>

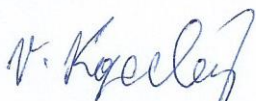
Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Jandura

Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **10. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2014**



prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan



doc. Ing. Milan Kolář, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 10. října 2013



Prohlášení

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis



Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Pavlovi Jandurovi za odbornou pomoc a rady při tvorbě práce. Dále děkuji Ing. Jaroslavovi Vlachovi z firmy Preciosa a. s. za zapůjčení multifunkční karty NI USB-6008 a poskytnutí dokumentace ke kartě. Ještě bych chtěl poděkovat Ing. Janovi Koprnickému, Ph.D. za vytvoření šablony v sázecím systému Latex, které bylo použito u projektu a také zde v této bakalářské práci.



Abstrakt

Jako bakalářskou práci jsem si vybral téma o fotovoltaických článcích. V první části se zabývám jaké druhy fotovoltaických článků existují a jaké jsou nejčastěji používány. V druhé části je práce zaměřena na použití vývojového programu LabVIEW. V poslední části se provádí měření a zpracování hodnot z panelů.

Abstract

As my bachelor's thesis I chosed photovoltaic cells. The first part deals with kinds of photovoltaic cell and which are most commonly used. The second part is focused on the development program LabVIEW and how to use it and the last part is about measurement.

Klíčová slova

Fotovoltaické články, fotovoltaický panel, LabVIEW, DAQ Assistant, měřící karta

Keywords

Photovoltaic cells, photovoltaic panel, LabVIEW, DAQ Assistant, measuring card



Obsah

Úvod	11
1 Fotovoltaický článek	12
1.1 Historie	12
1.2 Princip	13
1.3 Druhy	14
1.3.1 Monokrystalický článek	15
1.3.2 Polykrystalický článek	16
1.3.3 Amorfnní křemík (a-Si)	17
1.3.4 Kadmium-tellurid (CdTe)	18
1.3.5 Měď-indium-gallium-selen (CIGS)	19
1.3.6 Experimentální tenkovrstvé technologie	20
1.3.7 Vícevrstvý článek	20
1.3.8 Hybridní systém	21
2 Stavba fotovoltaického panelu	22
2.1 Panel z polykrystalických článků	22
2.2 Panel z amorfních článků	25
3 LabVIEW	26
3.1 Multifunkční karta NI USB-6008	26
3.2 Seznámení s programem	30
4 Měření výkonu panelu	34
4.1 Příprava před měřením	34
4.2 Základní parametry panelu	37
4.3 Nabíjení mobilního telefonu	37
4.4 Měření při maximálním výkonu	40
5 Závěr	42
Literatura	43



Seznam obrázků

1	Vanguard 1 [2]	12
2	Explorer 6 [3]	12
3	Princip článku [4]	13
4	Vývoj účinnosti článků [1]	14
5	Nejpoužívanější druhy článků [11]	15
6	Monokrystalický křemík [5]	16
7	Přední strana článku [6]	16
8	Zadní strana článku [6]	16
9	Polykrystalický křemík	17
10	Struktura amorfního článku [10]	18
11	Amorfni panely [11]	18
12	Flexibilní článek [24]	18
13	CdTe článek [12]	19
14	CdTe panel [14]	19
15	CIGS článek [16]	19
16	CIGS fólie [16]	19
17	Průhledný organický článek [17]	20
18	Vícevrstvý článek [18]	21
19	Hybridní panel [19]	21
20	Panel - zadní část bez silikonu	23
21	Přední část panelu	24
22	Zadní část panelu	24
23	Schéma zapojení flexibilních amorfních článků	25
24	Panel z amorfních článků	25
25	Složený panel	25
26	Multifunkční karta NI USB-6008 [28]	27
27	Blokové schéma karty NI USB-6008 [27]	28
28	Rozmístění signálů u karty NI USB-6008 [27]	29
29	Nesymetrické zapojení [25]	29



30	Symetrické zapojení [25]	29
31	NI MAX	30
32	Testovací panel	30
33	Čelní panel	31
34	Blokový diagram	32
35	Ovládací prvky	32
36	Schéma zapojení	32
37	Nastavení v DAQ Assistant	33
38	Zapojení svorek v DAQ Assistant	33
39	Schéma zapojení datových vývodů v USB konektoru	34
40	Schéma zapojení rezistorů u USB konektoru [29]	34
41	Step Up [30]	35
42	Měřicí obvod	36
43	Ovládací obvod	36
44	AC nabíječka	37
45	Polykrystalický panel - 1. část měření	38
46	Amorfní panel - 2. část měření	38
47	Polykrystalický panel - 3. část měření	38
48	Amorfní panel - 4. část měření	38
49	AC nabíjení	39
50	Nabíjení z panelů	39
51	Amorfní panel - přímé osvětlení	40
52	Amorfní panel - vodorovná poloha	41
53	Polykrystalický panel - přímé osvětlení	41
54	Polykrystalický panel - vodorovná poloha	41



Úvod

Sluneční energie patří do kategorie obnovitelných zdrojů. Pomocí světla lze vyrábět ekologicky elektrickou energii z fotovoltaických článků. Do obnovitelných zdrojů se dále řadí větrná, vodní a termální energie.

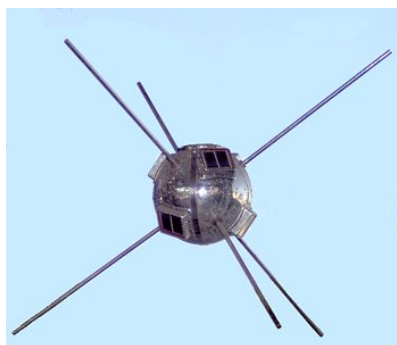
V této práci je popsáno vznik fotovoltaických článků. Jak dochází k přeměně světla na elektrickou energii. Postupně jsou uvedeny různé druhy článků a možnosti jejich výroby. Cílem práce je vybrat si z některých druhů fotovoltaické články, provést jejich měření a porovnat je mezi sebou. Pro měření se využívá grafické programovací prostředí v LabVIEW.



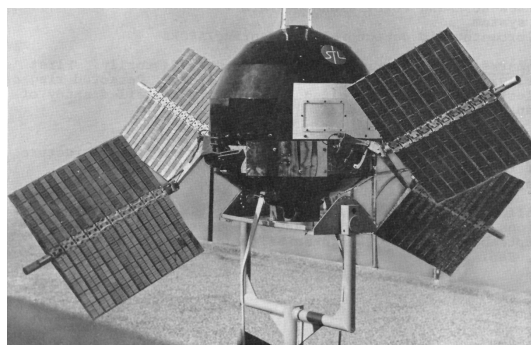
1 Fotovoltaický článek

1.1 Historie

Francouzský fyzik Edmund Becquerel v roce 1839 experimentoval s dvěma kovovými elektrodami, a které byly v elektrovedivém roztoku. Při náhodném osvětlení, zjistil zvýšení napětí na elektrodách, to byl důkaz objevu fotovoltaického efektu. U selenu byl zjištěn až v roce 1877. Toho využil později roku 1883 Charles Fritts a vyrobil článek, u něhož nanasl velmi tenkou vrstvu zlata na polovodičový selen. Jeho výrobek měl pouze 1 % účinnost a náklady na materiál byly vysoké. Další důležitý budoucí rozvoj fotovoltaických článků udělal polský vědec Czochralski roku 1918, který objevil způsob růstu monokrystalického křemíku. Fotovoltaický efekt byl zjištěn u křemíku, který má vysokou citlivost na světlo a je nejvýznamnější, a ještě u dalších prvků oxidu mědi a sulfidu kadmia. Russel Ohl si nechal patentovat v roce 1946 konstrukci křemíkového článku, ale právo na patent dostali z Bellových laboratoří Daryl Chapin, Calvin Fuller a Gerald Pearson. Ti vytvořili první praktické fotovoltaické články dnešní podoby. Použili rozptýlení křemíku na P-N přechodu, tím získali účinnost kolem 6 %. Hoffman Electronics mělo továrnu na výrobu solárních článků. V letech 1954 až 1960 Hoffman dokázal zlepšit účinnost fotovoltaických článků až na 14 %. Výrobní náklady byly velmi vysoké. Panel, který vyrobil 1 W, stál asi kolem 250 dolarů, ve srovnání s dvěma až třemi dolary za watt z uhelných elektráren. První význam použití solárních článků bylo ve vesmíru u družic, byl to jediný trvalý dostupný zdroj elektrické energie. Použily se na americký satelit Vanguard viz obr. 1 roku 1958, původně měl mít jen baterie. V roce 1959 byla postavena družice Explorer 6 na obr. 2, která měla 9600 článků od Hoffmana.



Obrázek 1: Vanguard 1 [2]



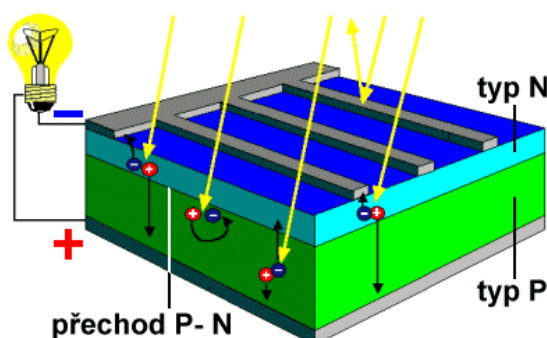
Obrázek 2: Explorer 6 [3]



Zpočátku byla určitá nejistota, ale v praxi měly velký úspěch. Rychle se začali používat u většiny dalších nových satelitů. Roku 1971 stál 1W panel přibližně 100 dolarů. Důležité změny nastaly v sedmdesátých letech, při používání větších článků, které jsou k dispozici, čímž je sníženo množství jednotlivých kusů pro danou oblast a kompletace panelů pomocí nových metod. V roce 1973 byly panely vyráběny za 10 dolarů na 1 W a prodávány za 20 dolarů. Pětinásobný pokles cen za dva roky, tím se staly dostupnějším využití pro veřejnost.

1.2 Princip

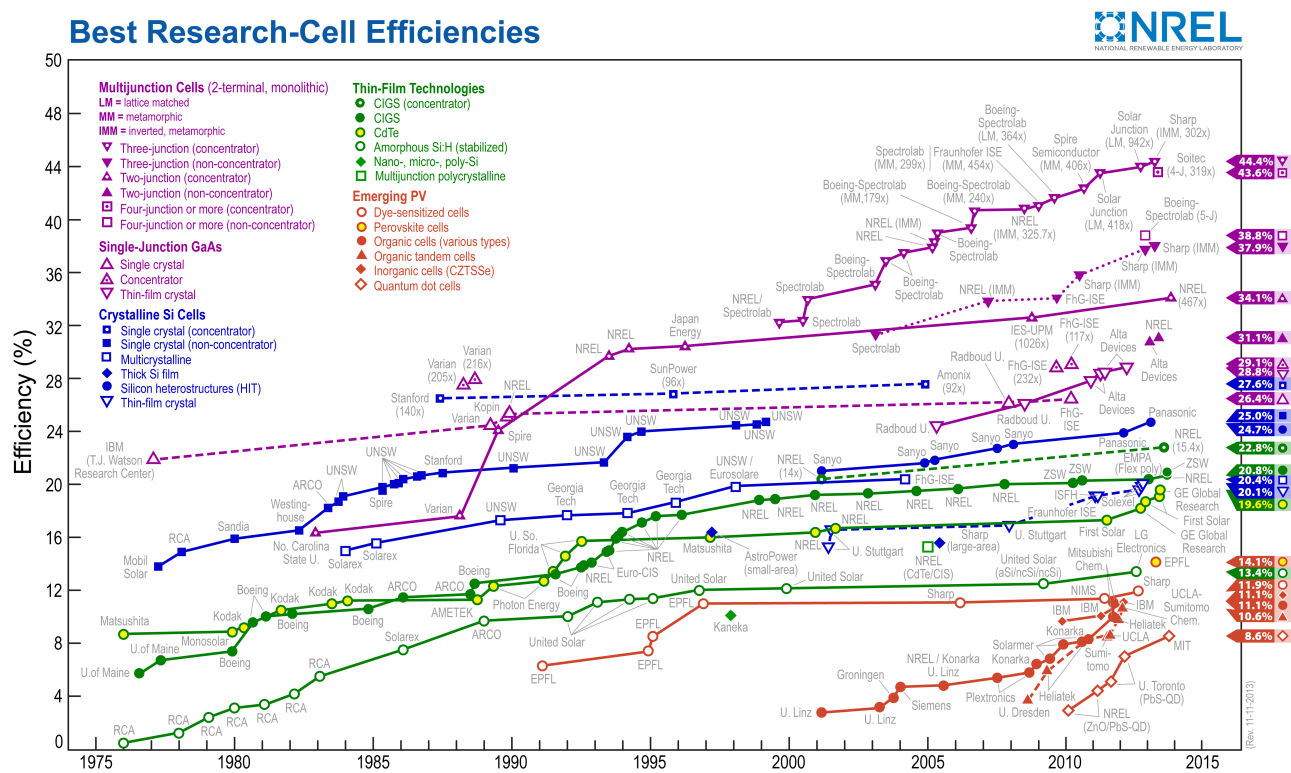
Energie fotonu závisí na vlnové délce. Při krátké vlnové délce mají částice největší energii. Solární článek z křemíku přeměňuje nejvíce energie při viditelném světle (380 až 780 nm). Infračervené a ultrafialové záření nemají téměř žádný vliv na účinnosti článků. Fotovoltaický článek se chová jako polovodičová dioda. Při osvětlení článku dochází k uvolňování elektronů z polovodiče typu N, tyto elektrony nemůžou přejít do polovodiče typu P, brání je v tom P-N přechod a hromadí se na povrchu polovodiče N. Volné elektrony dokáží snadno přecházet z vrstvy P do vrstvy N, ale v opačném směru to nejde, protože je v tom brání energetická bariéra. Proto v přechodu vznikne potenciál, který je u křemíkových článků 0,5 V. Až po připojení zátěže budou moci elektrony procházet nejprve přes připojené zařízení do vrstvy P a pak přes P-N přechod do polovodiče typu N. Obvodem začne procházet stejnosměrný elektrický proud. Proud závisí na velikosti plochy článku, na intenzitě světla a na úhlu dopadu fotonů. Spojováním článků do série lze zvýšit celkové napětí. Při paralelním zapojení roste proud. Dále je možnost články propojit kombinací sériově a paralelně.



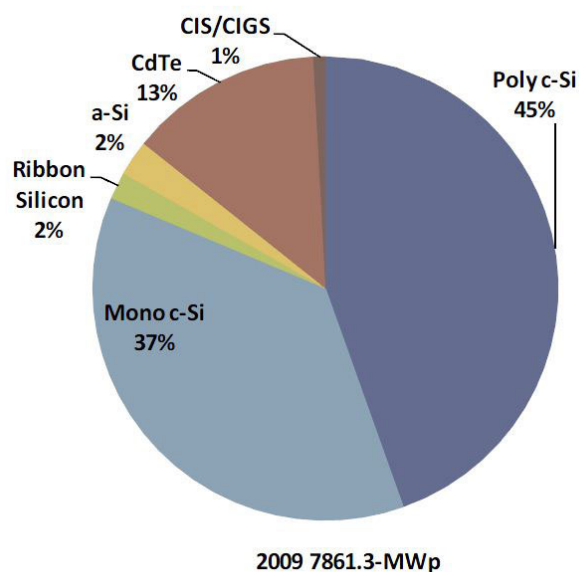
Obrázek 3: Princip článku [4]

1.3 Druhy

Články z křemíku se rozlišují podle jeho struktury na monokrystalický a polykrystalický. Další dělení je podle výrobní technologie tenkovrstvých článků na amorfni, CIGS, CdTe a jiné experimentální. Podklad pro krystalické články jsou tenké destičky z křemíku, které jsou velmi křehké. U tenkovrstvých může být plast, fólie, sklo nebo další vhodné podkladové vrstvy, tyto články jsou odolnější vůči deformacím podle zvoleného materiálu. Zde na obr. 4 jsou vidět dosažené účinnosti nejlepších článků v současnosti. Nejběžnější články jsou polykrystalické, monokrystalické a amorfni. Další typy článků vícevrstvé a organické, které se sériově nevyrábějí, protože jsou velmi nákladné na výrobu nebo mají zatím moc malou účinnost. Potom existují experimentální, ty jsou ještě ve vývoji. Nejlepší solární články vyrobil Boeing-Spectrolab pětivrstvou technologií s účinností 38,8 % a Sharp 37,9 % u třívrstvého článku. Nejpoužívanější typy článků viz obr. 5 v roce 2009.



Obrázek 4: Vývoj účinnosti článků [1]



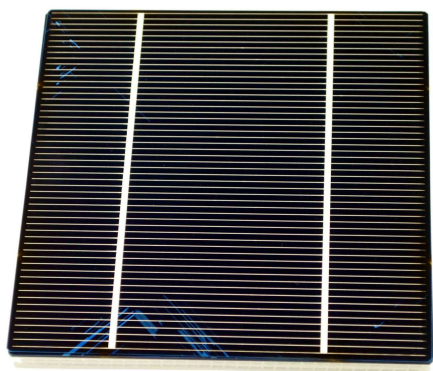
Obrázek 5: Nejpoužívanější druhy článků [11]

1.3.1 Monokrystalický článek

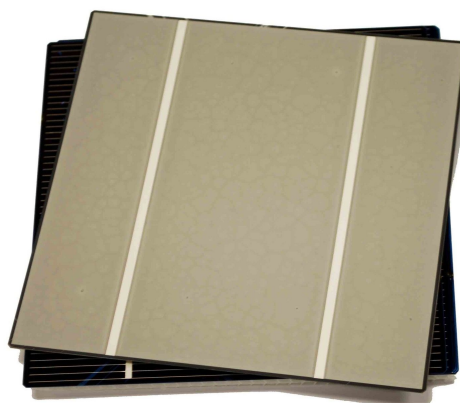
Články jsou vyráběny z jednoho krystalu křemíku. Monokrystalický křemík lze nejčastěji vyrábět podle Czochralského postupu, pomocí tzv. kelímkové metody, existují i další metody výroby krystalu. Křemík se ohřeje až na teplotu 1500 °C, poté se pomalu otáčí na hřídeli a je postupně vytahován z kelímku, kde je v kapalné formě, krystal a kelímek se otáčí proti sobě. Teplota tání křemíku je 1413,85 °C. Velikost krystalu může být 1 až 2 metry, v závislosti na množství křemíku v kelímku a průměr může být až do 300 mm. Při době růstu musí mít tavící pec konstantní hodnoty. Kulatý krystal viz obr. 6 lze pak nařezat na jednotlivé destičky, nejčastěji na 156 x 156 mm a o tloušťce v rozmezí 0,1 až 0,3 mm. Protože vznikl článek z jednoho krystalu, tak je jeho plocha jednolitá a velice čistá. Tyto články mají běžně účinnost 14 až 18 %, mají černou barvu a jsou levné. Z rostoucí teplotou článků klesá jejich účinnost, teplota může dosáhnout okolo 70 °C. Při přímém osvětlení mají lepší účinnost než polykrystalické články.



Obrázek 6: Monokrystalický křemík [5]



Obrázek 7: Přední strana článku [6]



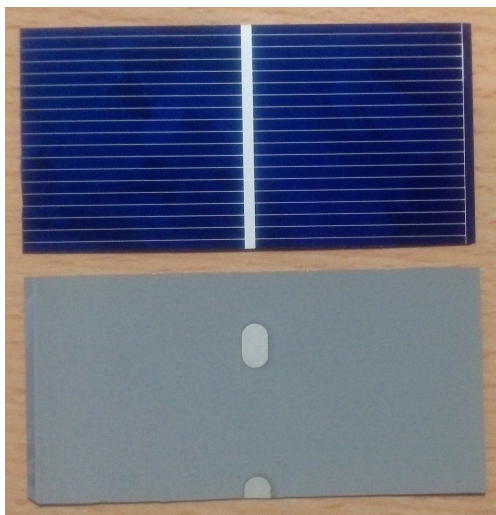
Obrázek 8: Zadní strana článku [6]

1.3.2 Polykrystalický článek

Článek vzniká z více krystalů křemíku. Polykrystalický křemík je na výrobu jednodušší a rychlejší než monokrystalický. Roztavený křemík se nalije do forem a chlazení je řízené indukčním tepelným tělesem. Tím dojde k vytvoření větších monokrystalů. Po dokončení výrobního procesu, lze polykrystalický křemík také nařezat na velikost 156 x 156 mm a tloušťka je stejná 0,1 až 0,3 mm. Tímto způsobem nelze získat takovou čistotu materiálu, jako u polykrystalického křemíku, mají viditelné přechody mezi krystalickou strukturou. Účinnost přeměny světla je 12 až 15 %, články mají barvu do modra. Jsou o trochu levnější než monokrysta-



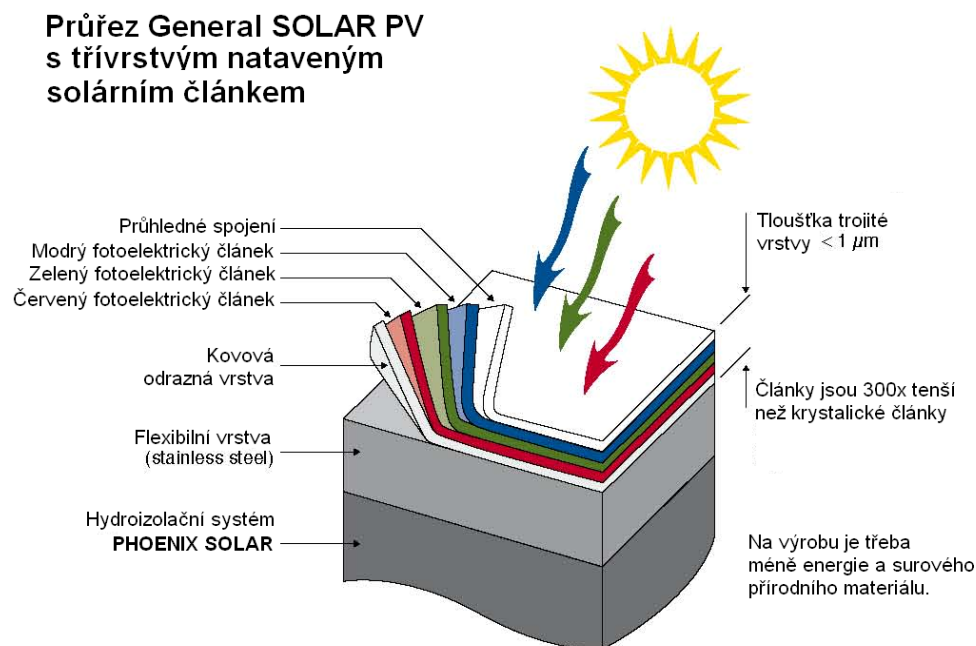
lické. Zde také klesá účinnost s rostoucí teplotou, ale pokles efektivity článku je rychlejší. Teplota je také 70 °C při slunečním záření. Při rozptýleném dopadu světla mají naopak tyto články lepší účinnost.



Obrázek 9: Polykrystalický křemík

1.3.3 Amorfni křemík (a-Si)

Nejznámější tenkovrstvou technologií je amorfni křemík. Neobsahuje krystaly, protože se nestihnou vytvořit při rychlém ochlazení taveniny. Jsou vyráběny ve vakuové komoře o teplotě 200 °C. Poté lze napařováním nanášet na podložku, která může být z plastu, fólie, skla nebo jiných materiálů. Tloušťka článku je menší než 1 mikrometr. Hotový výrobek neobsahuje žádné pájené spoje. Pro lepší účinnost obsahují až 3 vrstvy, každá část je dotována jiným prvkem. Výsledný panel nepotřebuje sklo jako u krystalických článků, má teflonovou vrstvu. Účinnost je kolem 4,5 až 9,5 %. Z rostoucí teplotou se účinnost téměř nemění. Při zatažené obloze dosahují lepší efektivitu přeměny než u klasických článků a nevadí částečné zastínění. Dokáží absorbovat velkou část světla. Jsou levnější variantou než u článků z krystalů, ale potřebuje se přibližně dvojnásobné množství o stejném výkonu. Tyto panely vyhovují, tam kde není omezení použitou plochou. Amorfni křemík lze používat na fólie, který má 60% podíl na trhu.



Obrázek 10: Struktura amorfního článku [10]



Obrázek 11: Amorfní panely [11]



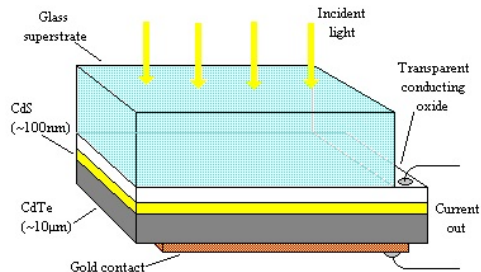
Obrázek 12: Flexibilní článek [24]

1.3.4 Kadmium-tellurid (CdTe)

Byla nejrozšířenější technologií v roce 2009 z tenkovrstvých článků při použití na fólie. Vrstva typu P je vytvořena z materiálu kadmium a tellurid (CdTe). Polovodič N je vyroben z CdS (sulfid kademnatý). Účinnost je mezi 10 až 11 %. Mají také nízké pořizovací náklady podobné jako u amorfního křemíku. Závislost na teplotě je také nízká. Při zatažené obloze nebo částečném zastínění vyrobí nejvíce energie z dostupných fotovoltaických článků, mají nejlepší



výtěžnost. Nevýhodou této technologie je vzácnost prvku kadmia a tellur má velmi nízké zásoby na zemi. Navíc je ještě kadmium toxický kov. Proto vyhovuje jen pro menší aplikace. Kadmium-tellurid se také využívá na fólie, kde tržní podíl je 30 %.



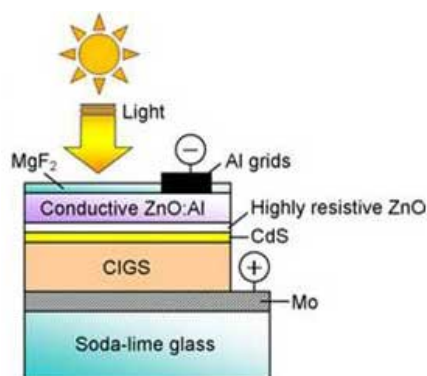
Obrázek 13: CdTe článek [12]



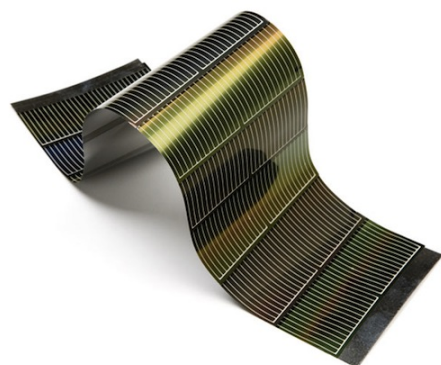
Obrázek 14: CdTe panel [14]

1.3.5 Měď-indium-gallium-selen (CIGS)

Tato technologie je nadějná. Polovodič typu P obsahuje čtyři prvky, které jsou měď, indium, gallium a selen (CIGS). Vrstva N je vyrobena z CdS (sulfid kademnatý) a průhlednou elektrodou ze ZnO (oxid zinečnatý). Přechod mezi různými polovodiči se nazývá heteropřechod. Jednotlivé vrstvy jsou nanášeny napařováním. Účinnost dosahuje 12 až 14 % je nejvyšší z dostupných sériově vyráběných tenkovrstvých článků. Absorbují až 99 % slunečního záření. Výrobní cena je nízká. Jsou odolné vůči degradaci světlem a při zatažené obloze vyrobí větší energii než u krystalických článků. Nevýhodou je indium, protože jde o vzácný kov. Vyrábí se i na fólie, který zatím nemá větší podíl na trhu.



Obrázek 15: CIGS článek [16]

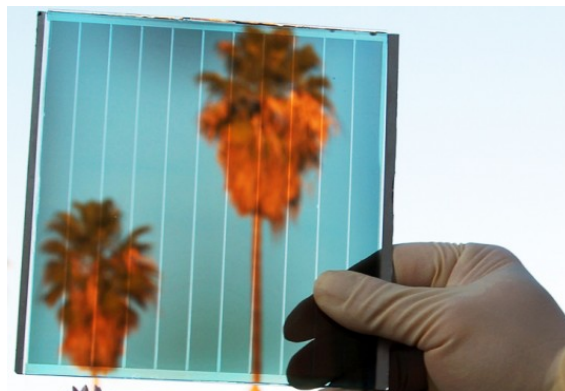


Obrázek 16: CIGS fólie [16]



1.3.6 Experimentální tenkovrstvé technologie

Ve vývoji jsou organické články už s účinností kolem 10 %, mohou být vyráběny i jako transparentní, mají nízké výrobní náklady a jsou flexibilní. Místo křemíku mají polovodiče z polymerů. Absorbují velkou část světla. Nejlepší využitelnost této technologie bude použití v oknech, například v mrakodrapech budou mít velký potenciál.

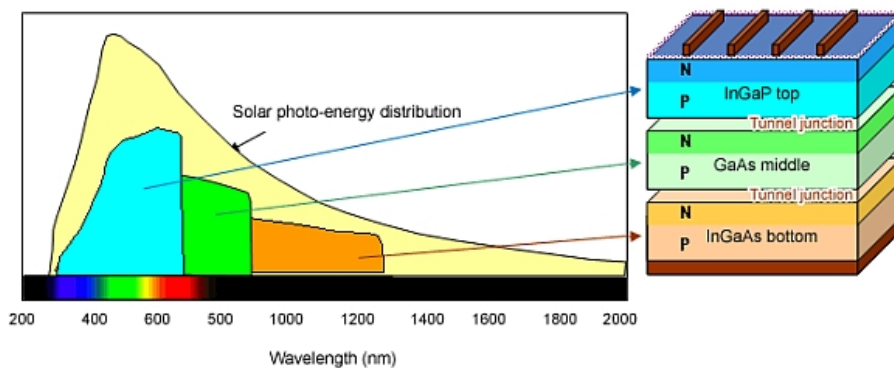


Obrázek 17: Průhledný organický článek [17]

Pracuje se ještě na dalších projektech. Mezi ně patří barvivo citlivé na světlo DYE sensitive (DSSC, DSC a DYSC), použití nanotechnologie na zvýšení účinnosti solárních článků a vytvoření solární vrstvy za použití nátěrových barev.

1.3.7 Vícevrstvý článek

Článek obsahuje tři a více tenkých vrstev. Každá vrstva je citlivá na jinou vlnovou délku světla. Příklad třívrstvé technologie na obr. 18, horní vrstva je složena z materiálů indium, gallium a fosfor (InGaP), druhá část je gallium a arsen (GaAs) a spodní vrstva indium, gallium a arsen (InGaAs). Důležité je zdokonalit ve všech vrstvách pravidelnou krystalickou strukturu. Sharp dokázal vylepšit krystaličnost ve vrstvě InGaAs, díky tomu dosahují články až k 37,9 % účinnosti. Vícevrstvé články jsou hlavně používány ve vesmíru na družice a ISS mezinárodní stanici, kde u těchto článků je nejdůležitější parametr efektivita výroby elektrické energie a cena není důležitá. Jsou velmi drahé, protože výroba s vysokou krystaličností je náročná a navíc indium a gallium patří mezi vzácné kovy. Z těchto důvodů nemůže nikdy vzniknout sériová výroba.



Obrázek 18: Vícevrstvý článek [18]

1.3.8 Hybridní systém

Je to kombinace fotovoltaického panelu na výrobu elektrické energie a kolektoru na ohřev vody v jednom celku. U toho to systému mají fotovoltaické články lepší účinnost až 28 %. Závislost na teplotě je malá, protože teplo se odvádí pryč a dokáže ohřát vodu na 60 až 70 °C. Teplota panelu dosahuje kolem 45 °C a ročně vyrobí o 20 % více elektrické energie, než jiný krystalický panel o stejném výkonu. Další výhody jsou, že není nutnost mít zvlášť fotovoltaické panely a kolektory na jedné střeše, úspora plochy, vyrobí více energie. Hybridní panel na obr. 19 dokázala vyrobit turecká firma Solimpeks, články jsou monokrystalické, vyrobí 175 Wp elektrického špičkového výkonu a 460 Wp tepelného špičkového výkonu.



Obrázek 19: Hybridní panel [19]



2 Stavba fotovoltaického panelu

2.1 Panel z polykrystalických článků

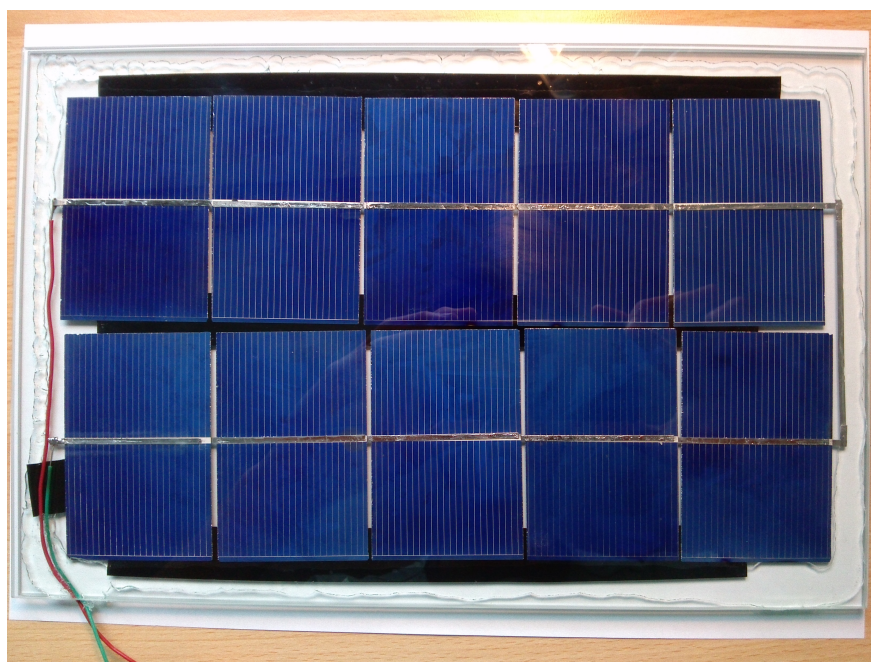
Fotovoltaický panel je navrhnutý na nabíjení mobilního telefonu. Na stavbu byl použit článek z polykrystalického křemíku [20]. Jeden článek má jmenovité napětí 0,5 V, proud 1,2 A, důležité jsou i jeho rozměry 75 x 50 mm. Aby bylo 5 V na výstupu, tak je využito 10 článků, které lze zapojit sériově. Články byly uspořádány po dvou sloupcích po pěti, kde napájecí vývody jsou blízko u sebe. Při vypočítávání celkové plochy skla, se nakreslilo rozložení článků, mezery mezi jednotlivými články byly zvoleny půl centimetru a u okrajů 2 cm. Tloušťka musí být co nejmenší a ještě s přijatelnou pevností. Je zvoleno dvakrát sklo float 290 x 190 x 3 mm a zakoupeno ve firmě Brilant [21]. Původně bylo v plánu použít tloušťku skla 2 mm, v popisu mají uvedeno řezání skla 2 až 19 mm, ale nejmenší rozměr mohli vyrobiť od 3 mm. Anti-reflexní sklo nebo další speciální typy nevyhovují pro tento typ aplikace, jsou totiž dražší a nárůst výkonu je nepatrný, protože panel zabírá malou plochu. Mezi skla bude nanesen silikon, ale musí se použít speciální, aby nezpůsobil oxidaci cínu, pájené spoje by zčernaly. Byl zakoupen MS Unifix [22] od výrobce Den Braven, silikon je průhledný, na bázi polymeru, odolný vůči vodě a vlhkosti a další užitečnou výhodou je, že nemá vliv na UV záření. Články lze spojit pomocí propojovací pásky [23] o šířce 2mm. Ty jsou potom nastříhány, aby se vždy vešli na dva články, pásky nesmějí přesahovat, jinak dojde ke zkratu.

Před pájením musí být změřena polarita článků, aby se vědělo kde je kladná a záporná hodnota, na přední straně je mínus a zadní má plus. Dále je na každý článek nejdříve napájen pásek z přední strany, poté lze všechny otočit a postupně spájet dohromady. Před použitím silikonu se musí zkontrolovat, jestli jsou spoje v pořádku nebo není někde prasklý článek, ten lze ještě snadno vyměnit. Důležité je i měření proudu a napětí na výstupu, tím se ověří skryté závady, např. nefunkčnost článku. Případná pozdější chyba může být opravena, ale není lehké odstranit silikon. Články jsou přilepeny izolační páskou, aby se neposunuly při nanášení silikonu. Teď bylo všechno připravené k dalšímu postupu práce.

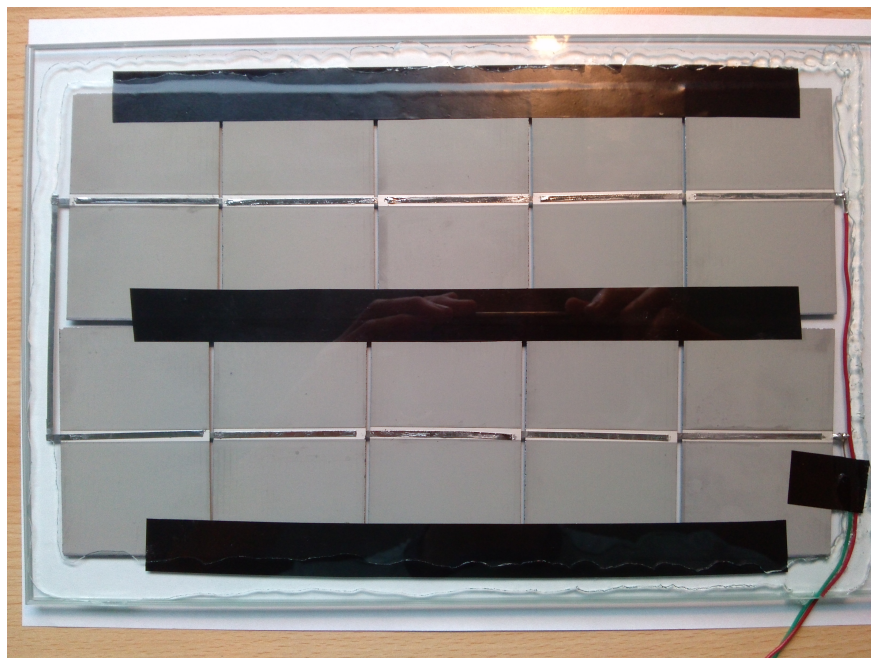


Obrázek 20: Panel - zadní část bez silikonu

Opatrně byl nanesen silikon po okrajích panelu. Muselo se dát pozor, aby někde nebylo moc málo silikonu, jinak to nebude zcela odolné vůči vodě a vlhkosti. Pak lze přidat druhé sklo, které bylo řádně stlačeno, nedojde k poškození článků. Panel byl zatížen na dobu alespoň 24 hodin. Práce se silikonem trvala nejdéle, protože je nutné dlouho čekat na vytvrzení. Stavba panelu trvala přibližně dva dny. Potom lze ověřit, jaký je celkový proud a napětí. Po vytvrzení silikonu vypadá vyrobený panel z přední strany podle obr. 21 a zadní část viz obr. 22. Náklady na tento panel jsou odhadem 270 Kč, články v panelu mají hodnotu 160 Kč, dvě skla stojí kolem 110 Kč. Panel má špičkový výkon 6 Wp.

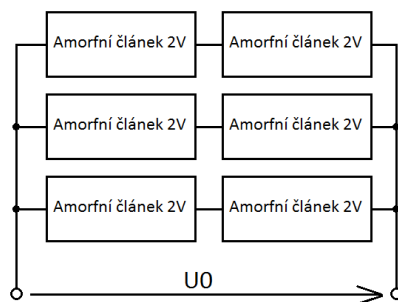


Obrázek 21: Přední část panelu



Obrázek 22: Zadní část panelu

Druhý panel je vyroben z šesti flexibilních amorfních článků [24]. Jeden článek má jmenovité napětí 2 V, proud 400 mA a rozměry 190 x 50 mm. Vždy dva články lze zapojit sériově, z toho vznikly tři části, u kterých se napětí zvýšilo na 4 V. Potom byly zapojeny paralelně, celkový proud je po sečtení 1,2 A. Využilo se kombinace sériového a paralelního zapojení viz obr. 23. Stavba panelu z ohebných článků je časově nejrychlejší, ale přibližně 7krát dražší než z polykrystalického křemíku. Jeden článek má hodnotu 300 Kč, při použití 6 kusů to je celkem 1800 Kč. Panel má teoretický výkon 4,8 Wp. Rozměry panelu z amorfních článků na obr. 24 jsou téměř stejně velké jako z křemíkových článků. Tento panel lze navíc složit podle obr. 25.



Obrázek 23: Schéma zapojení flexibilních amorfních článků



Obrázek 24: Panel z amorfních článků



Obrázek 25: Složený panel



3 LabVIEW

Jedná se o grafické programovací prostředí od americké firmy National Instruments (NI). LabVIEW je zkratka ze slov Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench, v překladu to znamená „laboratorní pracoviště virtuálních přístrojů“. Společnost založili v roce 1976 trojice podnikatelů James Truchard, Jeffrey Kodosky a William Nowlin. LabVIEW začal vyvíjet v roce 1983 Jeffrey Kodosky, využívá použití počítačů pro měření. Grafické prostředí ulehčilo a urychlilo programování, které lze vytvářet pomocí bloků, mají různou funkčnost a vzájemně se dají mezi sebou propojit. Oproti složitému psaní kódu je tato možnost přehlednější. Hlavní použití grafického jazyka je pro měření a analýzu signálů, vyhovuje také pro složité aplikace v průmyslu na řízení automatizovaných procesů a možnost i naprogramovat robota. Velká výhoda LabVIEW je vytvoření libovolné virtuální měřicí přístroje. Hodnoty z měření lze dále zpracovat například do grafů. LabVIEW lze dobře použít na dlouhodobé nebo trvalé měření. V programu je vždy snadná oprava virtuálního přístroje, než u skutečného, kde to nemusí jít vždy. K počítači musí být připojená měřicí karta, přes PCI Express nebo USB rozhraní. Nejlevnější stojí okolo 2400 Kč a nejdražší karta vyjde přes 100 000 Kč. Pomocí jedné karty lze nahradit více skutečných přístrojů. Virtuální instrumentace se vyskytuje i v označení souboru. Program vytváří soubor s příponou např. test.vi. [25]

3.1 Multifunkční karta NI USB-6008

Tato profesionální multifunkční karta na obr. 26 lze zakoupit od výrobce National Instruments a stojí přibližně 4500 Kč. S touto kartou se měří data a pomocí funkce DAQ Assistant se spojí s vývojovým prostředím LabVIEW. V programu je možnost upravovat a vyhodnocovat získaná data z měření, nastavení jejich automatického ukládání pro pozdější zpracování. Měřicí kartu lze připojit k počítači přes USB rozhraní.

Blokové schéma na obr. 27 multifunkční karty NI USB-6008 se skládá z osmi analogových vstupů (AI 0 až AI 7 - Analog input), dvou analogových výstupů (AO 0 a AO 1 - Analog output), 12 obousměrně číslicových vstupů/výstupů (P0.0 až P1.3) a 32bitovým číslicovým čítačem (vstup PFI 0, možnost pro spouštění - trigger). Analogové vstupy AI lze zapojit jako 8 nesymetrických kanálů se společnou zemí (funkce RSE v DAQ Assistant) nebo 4 symetrické kanály (diferenciální). Na vnější konektor je napájení z USB rozhraní 5 V a ze sta-



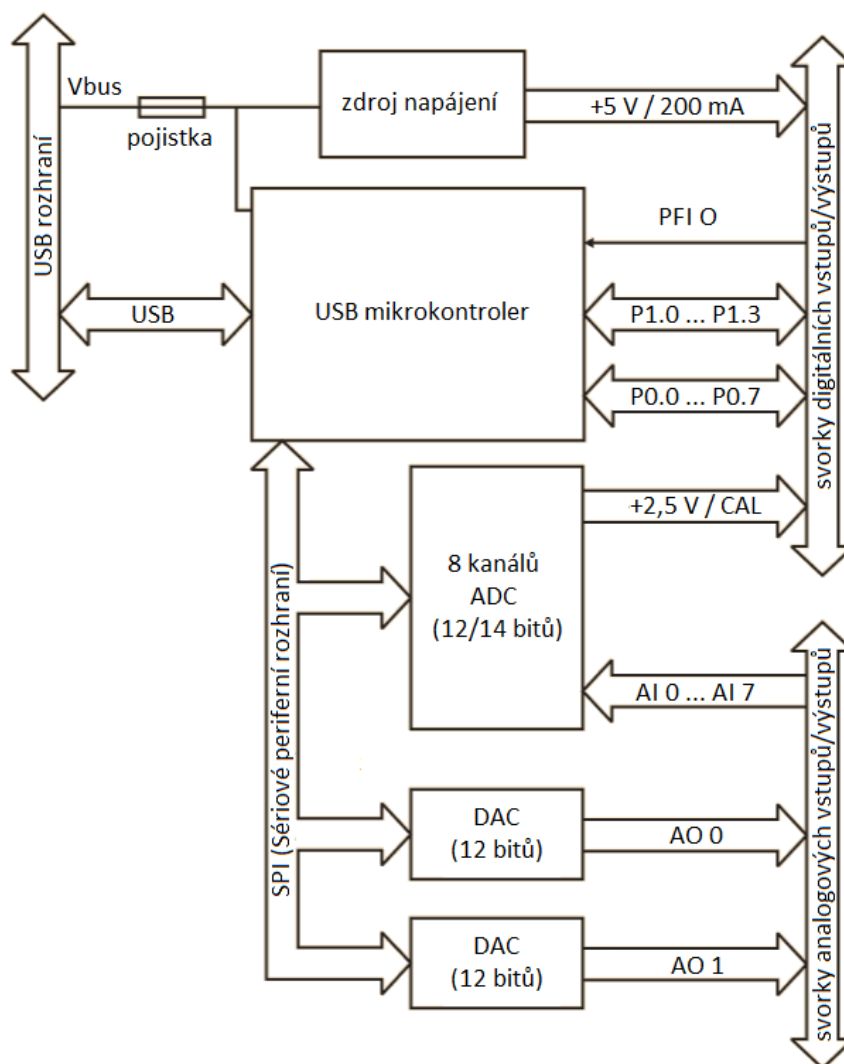
Obrázek 26: Multifunkční karta NI USB-6008 [28]

bilizátoru referenční napětí 2,5 V pro A/D převodník (ADC). Výrobce spolu s multifunkční kartou dodává USB kabel typu (A-B), dvě násuvné svorkovnice s nalepovacími štítky, návod v anglickém jazyce a dvě CD s programem NI-DAQmx.

Základní vlastnosti karty NI USB-6008 jsou uvedeny v tab. 1, kde jednotka 10 kS/s znamená zpracování 10 000 vzorků za sekundu. Maximální vzorkovací rychlost závisí na typu USB v připojeném počítači.

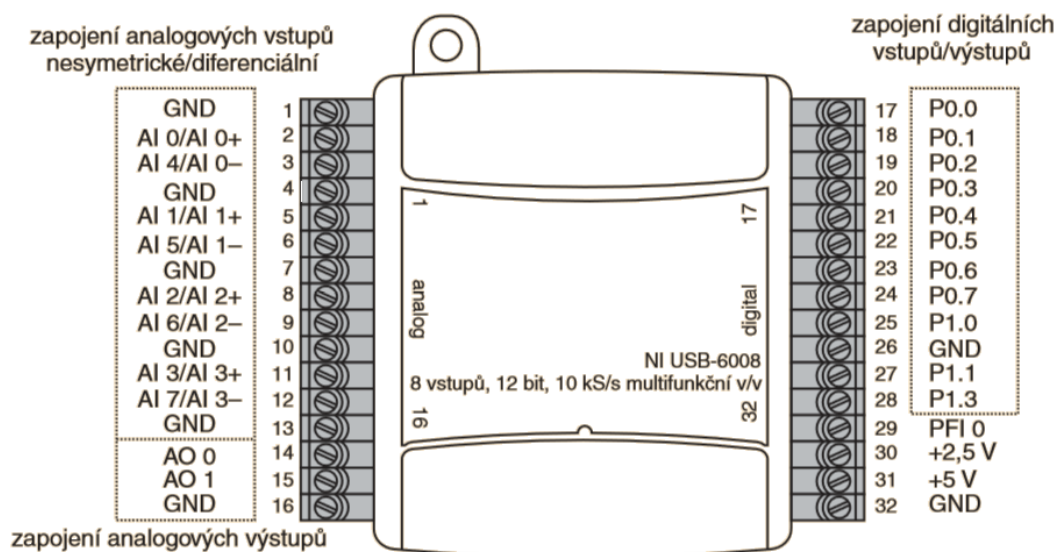
Tabulka 1: Základní vlastnosti karty NI USB-6008

Vlastnost	NI USB-6008
Rozlišení AI	12 bitů (diferenciální vstupy) 11 bitů (nesymetrické vstupy)
Max. vzorkovací rychlost AI, pro jeden kanál	10 kS/s
Max. vzorkovací rychlost AI, pro několik kanálů	10 kS/s
Technologie číslicových vstupů/výstupů	otevřený kolektor (interní rezistor 4,7 kΩ)

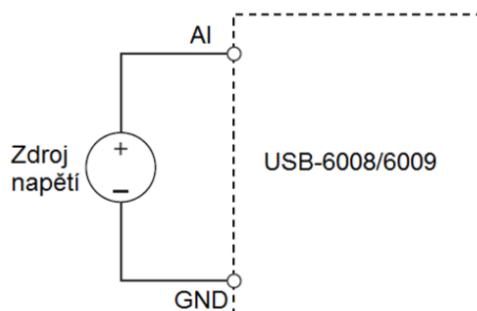


Obrázek 27: Blokové schema karty NI USB-6008 [27]

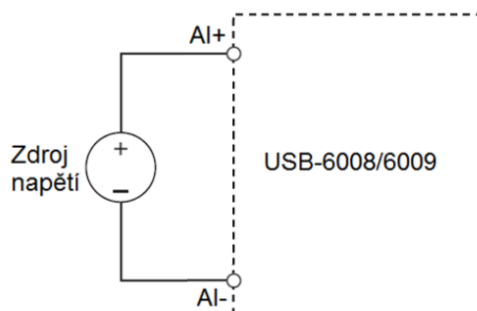
Na obr. 27 jsou zobrazeny rozmístění zapojení analogových vstupů a výstupů a digitálních vstupů/výstupů u multifunkční karty NI USB-6008. Analogový signál lze zapojit dvěma způsoby na vstup AI. Nesymetrické zapojení podle obr. 29, kladný pól se spojí na vstup AI a záporný pól na zem (GND). Druhá možnost je symetrické zapojení na obr. 30, kladný pól se spojí na vstup AI+ a záporný pól na vstup AI-. Na každé svorce může být napětí maximálně od -10 V až do +10 V, větší hodnoty kladného nebo záporného napětí budou omezeny. U symetrického zapojení jde připojit napětí v rozmezí od -20 V až do +20 V. [25]



Obrázek 28: Rozmístění signálů u karty NI USB-6008 [27]



Obrázek 29: Nesymetrické zapojení [25]

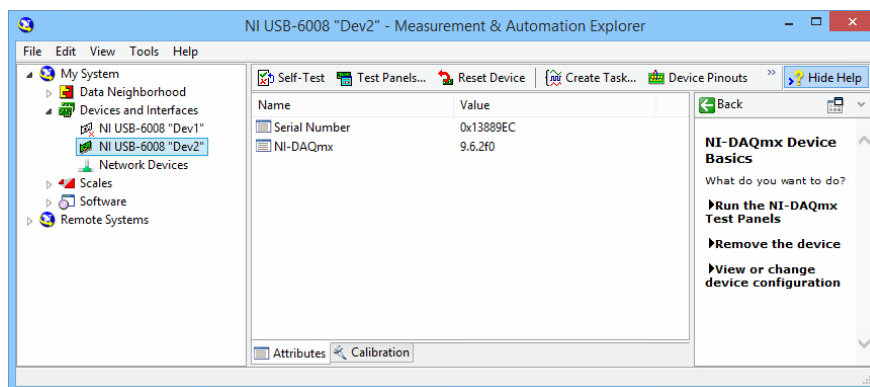


Obrázek 30: Symetrické zapojení [25]



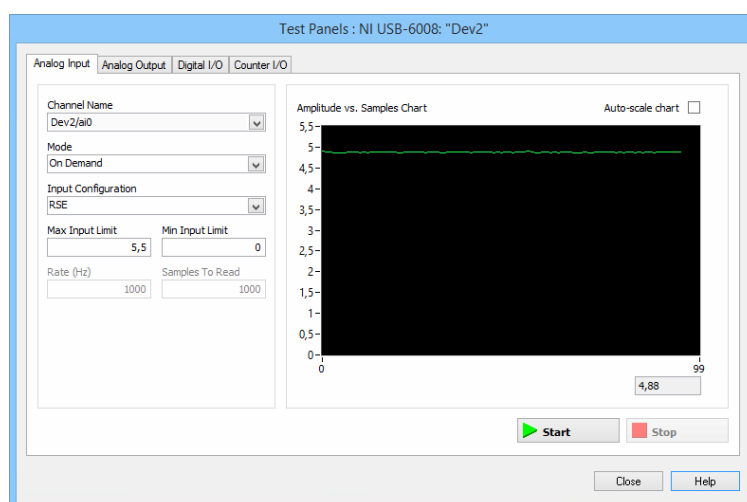
3.2 Seznámení s programem

Nejdříve je dobré před grafickým programováním vyzkoušet kartu pomocí aplikace NI MAX (obr. 31), která je součástí LabVIEW. Na levé straně lze z nabídky vybrat Device and Interfaces. Dále se zvolí připojená karta k počítači, v tomto případě NI USB-6008 “Dev2”.



Obrázek 31: NI MAX

Na obr. 32 je otevřeno okno Test Panels. Nastaví se maximální a minimální velikost napětí. V Input Configuration je zvoleno RSE, vypne se funkce Auto-scale chart a lze spustit tlačítkem Start. Při zapnutém testování bylo zobrazeno okamžité napětí 4,88 V, které je téměř konstantní, při připojení mobilního telefonu z AC nabíječky. Poté lze program NI MAX ukončit.

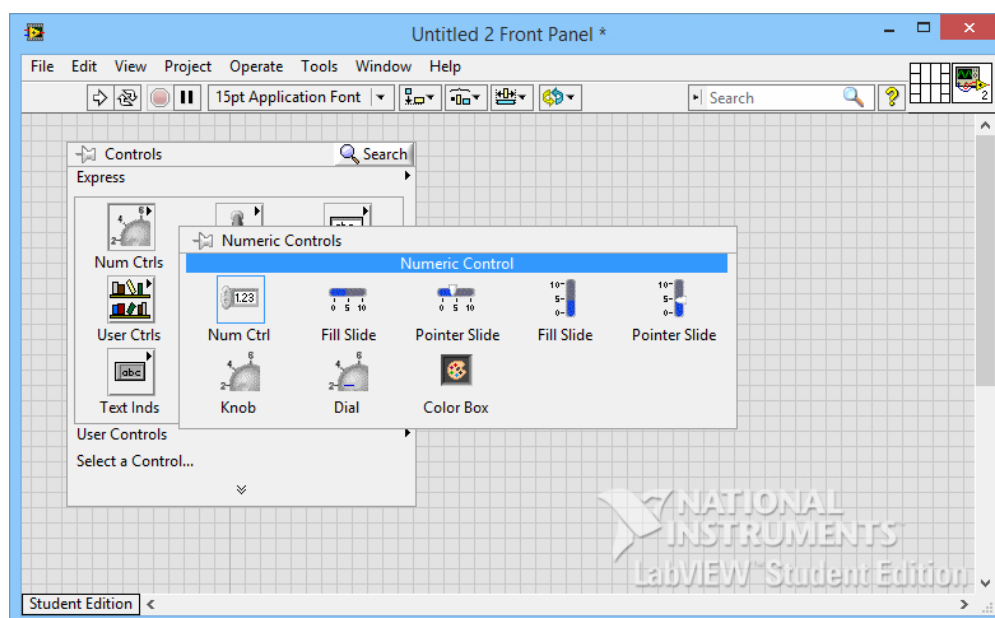


Obrázek 32: Testovací panel



Teď lze otevřít program s grafickým programováním National Instruments LabVIEW. Při vytvoření nové úlohy se zobrazí dvě okna, čelní panel na obr. 33 a blokový diagram podle obr. 34.

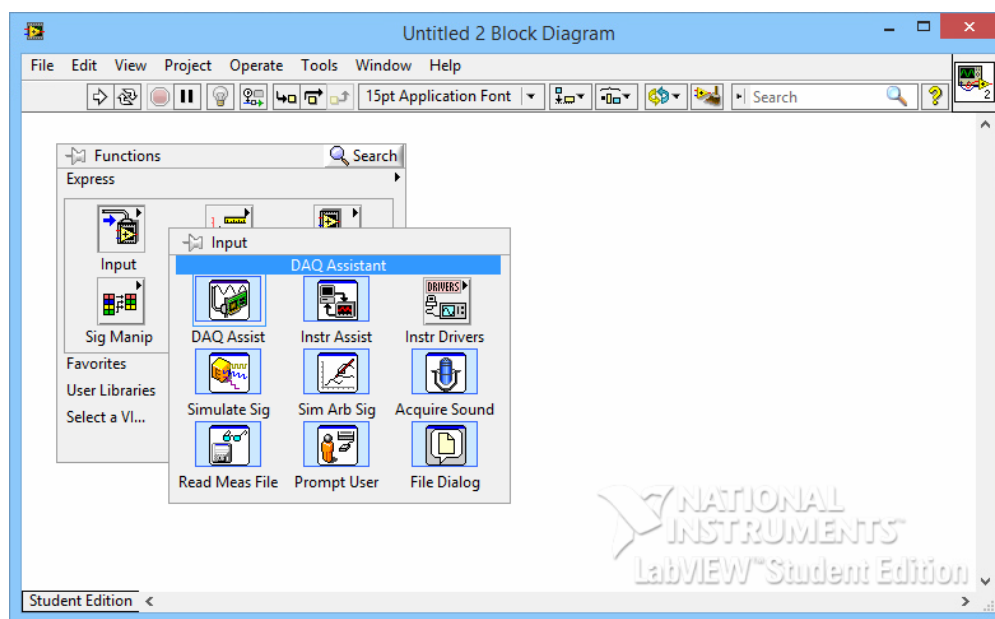
Čelní panel (Front Panel) tvoří ovládací a indikační prvky. Odsud lze ovládat celý program, který umožňuje řídit a získávat informace např. z grafu. Všechny objekty lze libovolně přesunout, změnit velikost a upravit parametry daných bloků. Kliknutím pravým tlačítkem myši se vyvolá nabídka, z které jsou vybrány potřebné ovládací a zobrazovací prvky, tlačítka a jiné bloky. V horní části je nástrojová lišta, kde je možnost úlohu spustit, zastavit nebo pozastavit.



Obrázek 33: Čelní panel

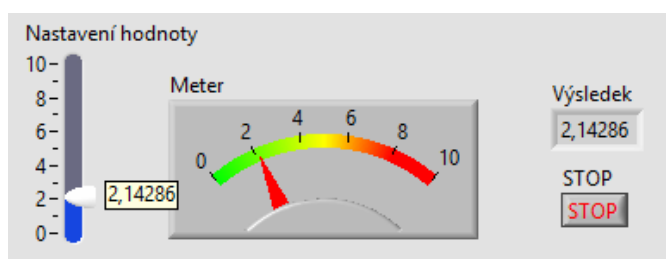
V blokovém diagramu (Block Diagram) lze vytvářet celý funkční obvod a propojit mezi sebou bloky, jako matematické a měřicí prvky, programovací struktury, ukládání a načítání dat, práce se signálem a jiné bloky. Přidávání funkčních bloků je stejné jako u předchozího okna. Všechny prvky z čelního panelu jsou promítnuty do blokového diagramu a naopak. Obě okna lze pohodlně mezi sebou přepínat pomocí klávesové zkratky <Ctrl+E>. Na spouštění úlohy je zde také nástrojová lišta a je podobná jako v čelním panelu. [25]

Jednoduchá ukázka programu viz obr. 35, kde jsou nejdříve vybrány zobrazovací a ovládací prvky z knihovny čelního panelu. Potom se zobrazí v blokovém diagramu, které musejí

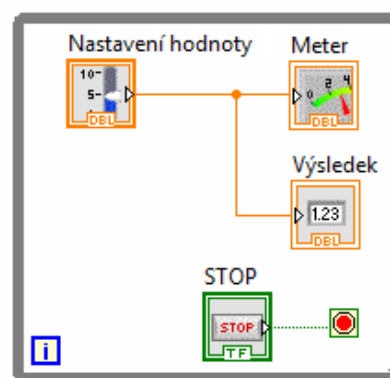


Obrázek 34: Blokový diagram

být spojeny, jinak nebude možné danou úlohu spustit. Zvolením programové struktury While Loop se vytvoří rámeček s možností přidáním tlačítka stop. Ovládat aplikaci lze přes posuvník z názvem nastavení hodnoty, zvolené číslo se zobrazí na ručičkovém měřícím panelu a zároveň přesná hodnota v indikátoru s názvem výsledek. Pomocí tlačítka STOP lze jednoduše zastaví běh úlohy.



Obrázek 35: Ovládací prvky

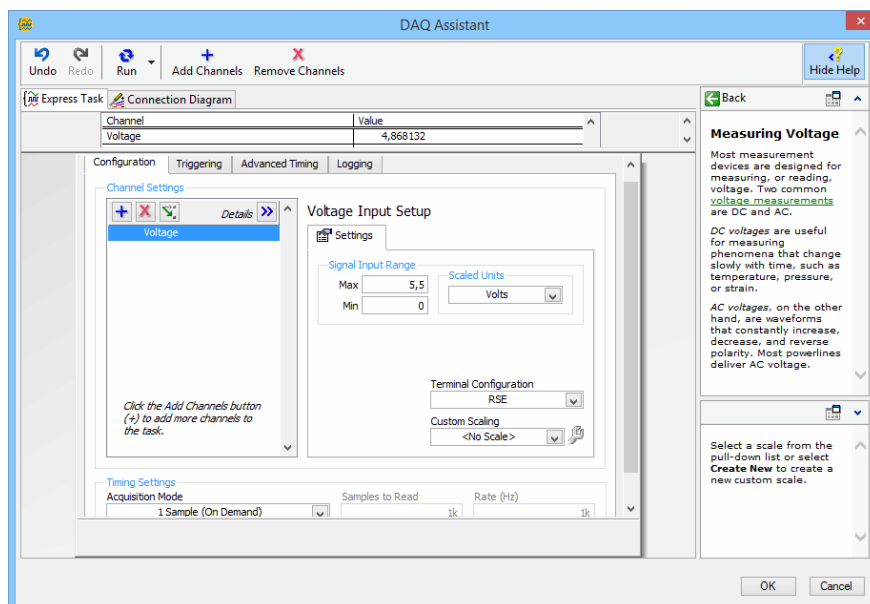


Obrázek 36: Schéma zapojení

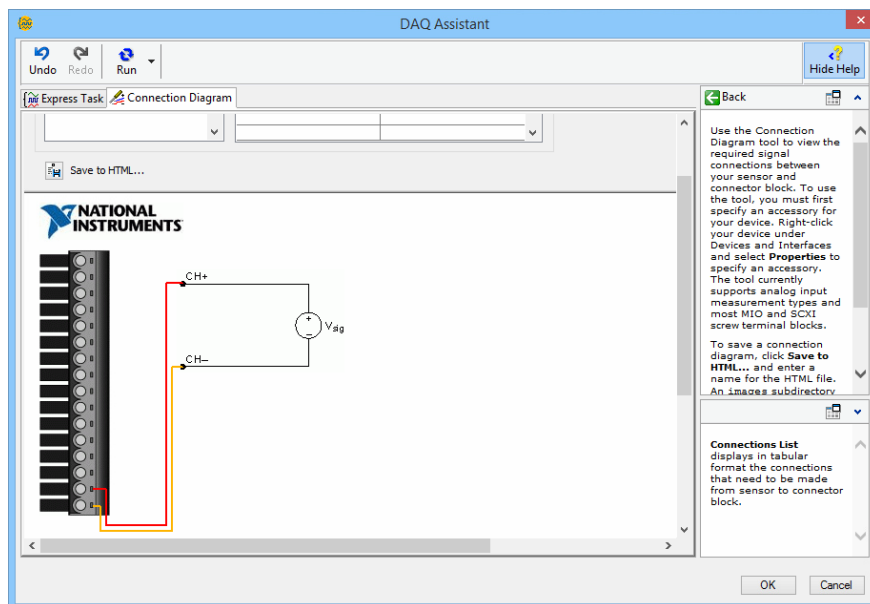
Přidáním měřicí karty do programu je přes funkci DAQ Assistant v knihovně Input v blokovém diagramu. Otevře se okno, kde je na výběr Acquire Signals pro vstupní signál



a Generate Signals pro výstupní signál. Další výběr je buď analogový, číslicový nebo digitální port. Ukázka DAQ Assistant na obr. 37, nastavení je podobné jako u programu NI MAX, zde je také možnost otestovat kartu, zmáčknutím tlačítka start se zobrazí napětí. Kliknutím na Connections Diagram podle obr. 38 je uvedeno zapojení svorek multifunkční karty.



Obrázek 37: Nastavení v DAQ Assistant



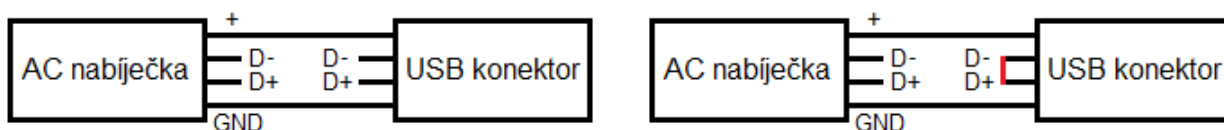
Obrázek 38: Zapojení svorek v DAQ Assistant



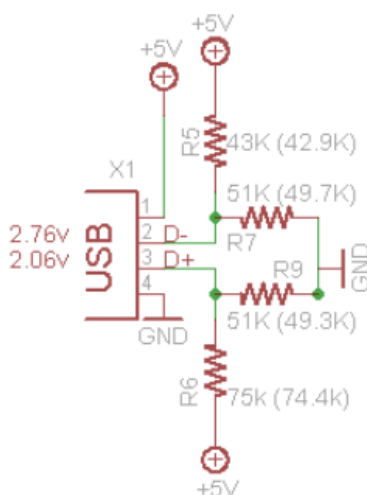
4 Měření výkonu panelu

4.1 Příprava před měřením

Problém vznikl u datových vývodů v USB konektoru (obr. 39) při nabíjení mobilního telefonu. Nejsou-li zapojeny, vyhodnotí se jako USB připojení a maximální proud je 500 mA. Při propojení datových vývodů nebo zapojení rezistorů viz obr. 39 je zobrazeno AC nabíjení, ale proud zůstal na stejné hodnotě.

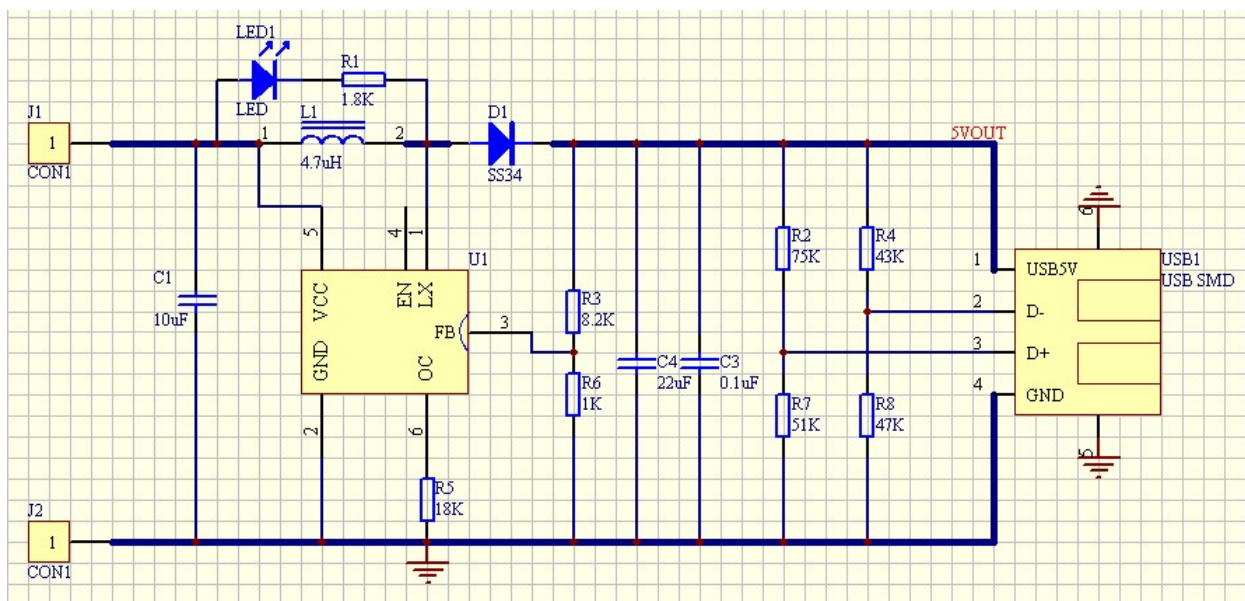


Obrázek 39: Schéma zapojení datových vývodů v USB konektoru



Obrázek 40: Schéma zapojení rezistorů u USB konektoru [29]

Byl použit Step Up obvod na obr. 41. Vstupní napětí je v rozmezí od 2,5 V do 6 V. Na výstupu má 5 V a maximálně 1 A. Tento obvod slouží i jako stabilizační prvek a zvyšuje napětí. To lze využít u solárních panelů, kdy při připojení zátěže nebo při zastínění poklesne napětí. Když je napětí z fotovoltaického panelu menší než 2,5 V, tak se Step Up obvod vypne.



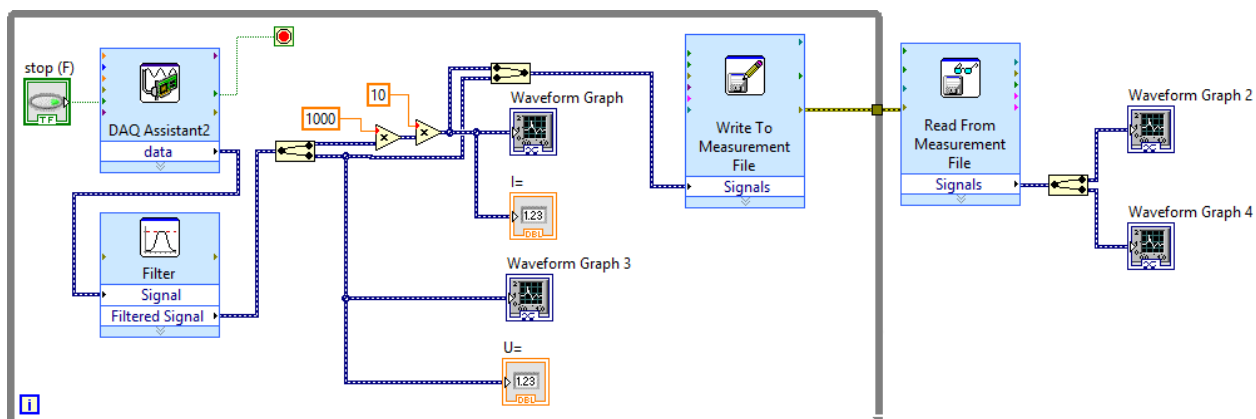
Obrázek 41: Step Up [30]

U měřicí karty jsou připojeny do analogových vstupů podle obr. 28 AI 1 a GND přes nesy-metrické zapojení, tím se měří výstupní napětí panelu nebo AC nabíječky. Dále je symetrické zapojení přes AI 0+ a AI 0-, proud se měří nepřímou metodou přes rezistor 0,1 Ω .

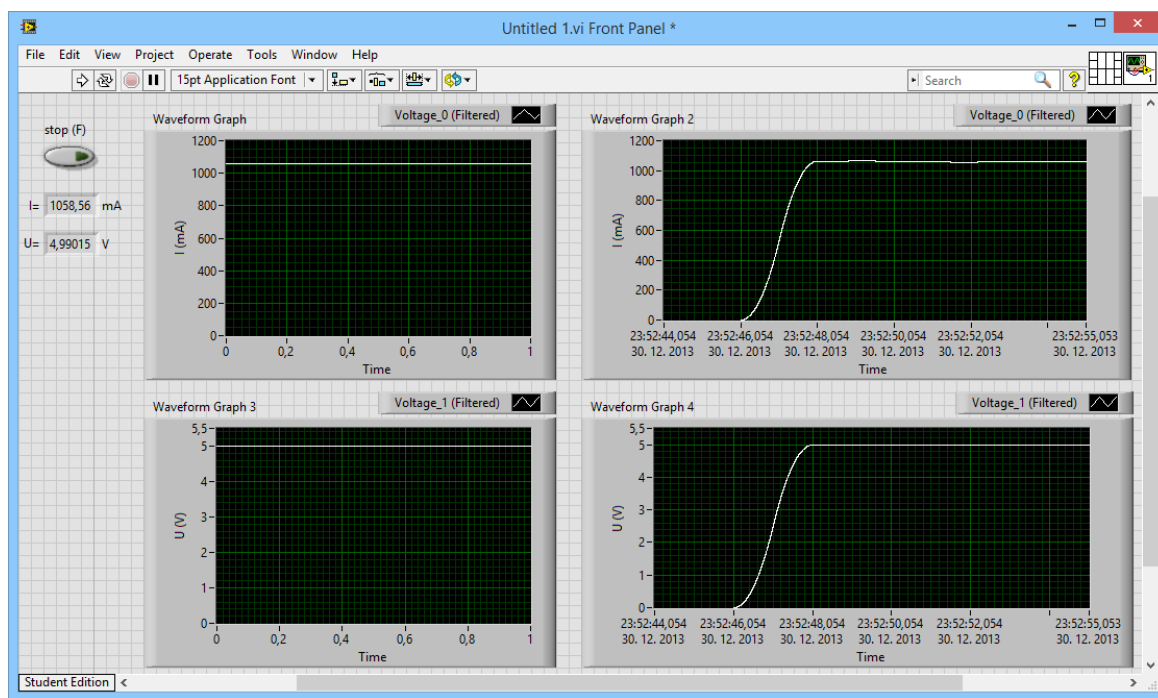
V LabVIEW na obr. 42 je schéma měřicího obvodu a viz obr. 43 ovládací část. Data jsou získávány z karty pomocí funkce DAQ Assistant. Signál musí být nejdříve filtrován kvůli šumu způsobené indukčnostmi, když je vstupní napětí na Step Up nižší než 3 V. Potom lze rozdělit na dvě části, kde první je napětí, které se přepočítá na proud podle Ohmova zákona.

$$I = \frac{U}{R} \quad [A; V; \Omega] \quad (1)$$

Druhá část je výstupní napětí z panelu. Okamžité hodnoty jsou zobrazeny v indikátorech a v grafech 1 a 3. Dále lze zpátky spojit signály dohromady a ukládat naměřená data. Po zmáčknutí tlačítka stop se přestanou načítat data z karty přes DAQ Assistant. Uložený signál se načte, který je opět rozdělen a celkové průběhy jsou vykresleny v grafech 2 a 4.



Obrázek 42: Měřicí obvod



Obrázek 43: Ovládací obvod



4.2 Základní parametry panelu

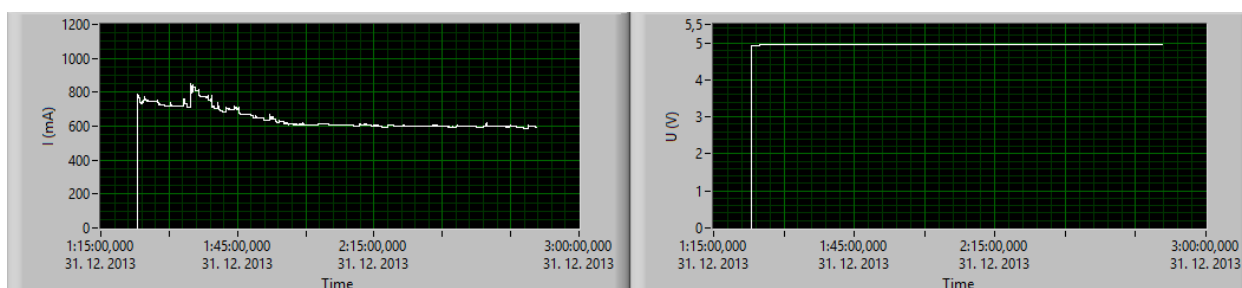
V tab. 3 jsou uvedeny základní vlastnosti a porovnání panelu z polykrystalických a amorfních článků. Dále se srovnává přímé a vodorovné osvětlení článků.

Tabulka 2: Parametry panelu

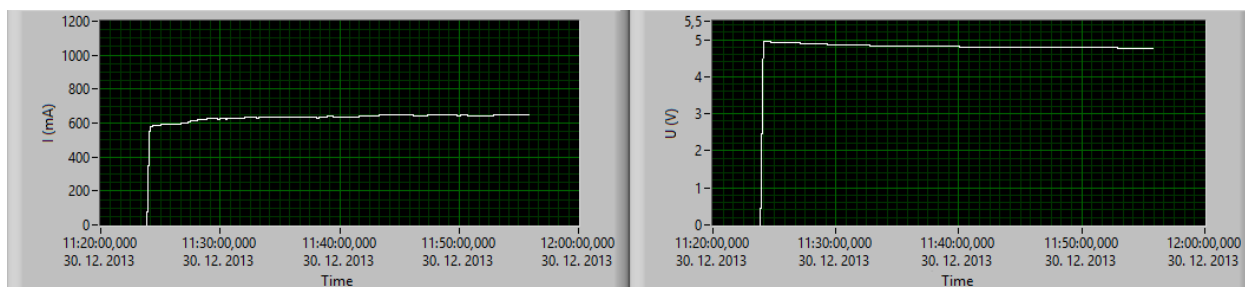
Typ panelu	Polykrystalický	Amorfní
Parametry panelu		
Výkon [Wp]	6	4,8
Napětí [V]	5	4
Proud [A]	1,2	1,2
Rozměry [mm]	290 x 190 x 7	325 x 190 x 2
Hmotnost [g]	815	119
Napětí naprázdno [V]	5,38	4,20
Proud nakrátko [A]	1,03	0,97
Vodorovná poloha panelu		
Napětí naprázdno [V]	4,98	3,88
Proud nakrátko [mA]	300	500

4.3 Nabíjení mobilního telefonu

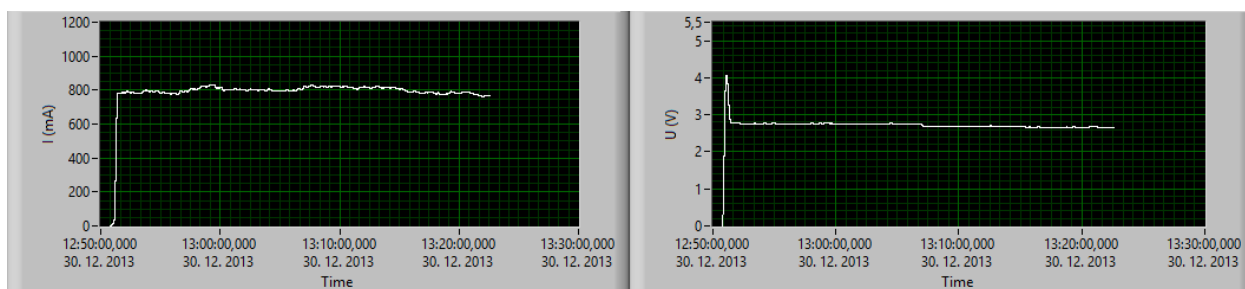
U všech měření je mobilní telefon v režimu spánku. Panely jsou během nabíjení postupně střídány, to lze zjistit v grafech v ose x, kde je zobrazen čas a názorněji v grafu na obr. 50.



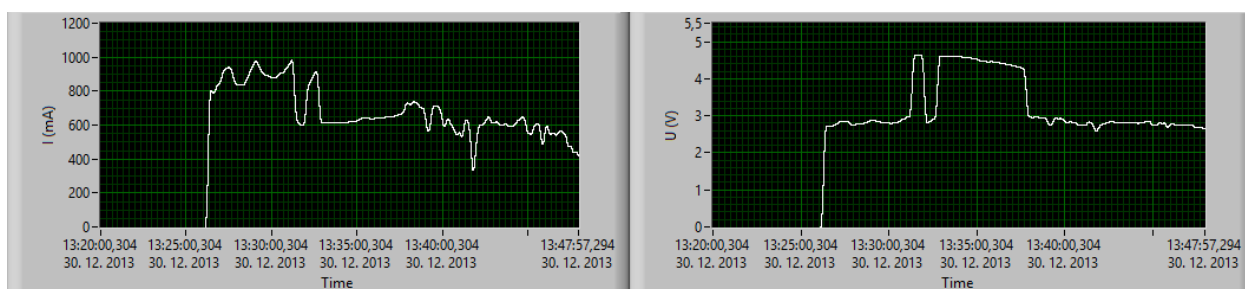
Obrázek 44: AC nabíječka



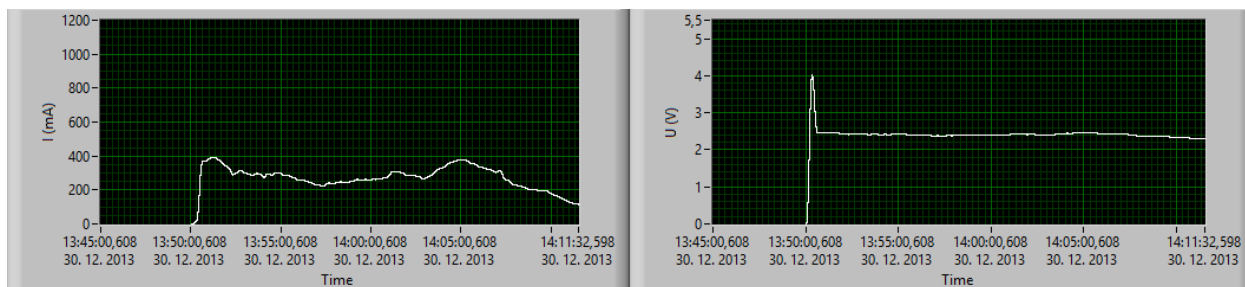
Obrázek 45: Polykrystalický panel - 1. část měření



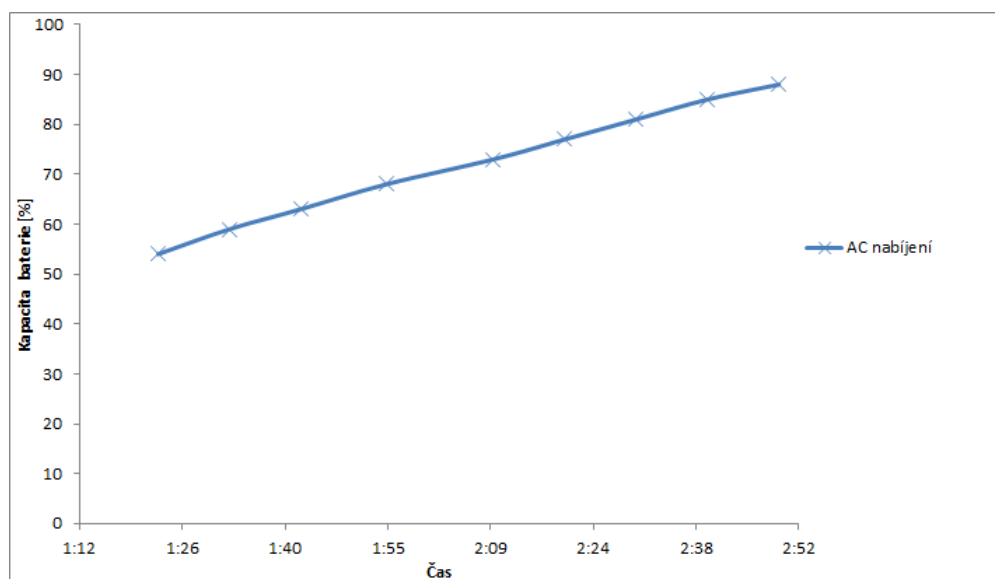
Obrázek 46: Amorfnní panel - 2. část měření



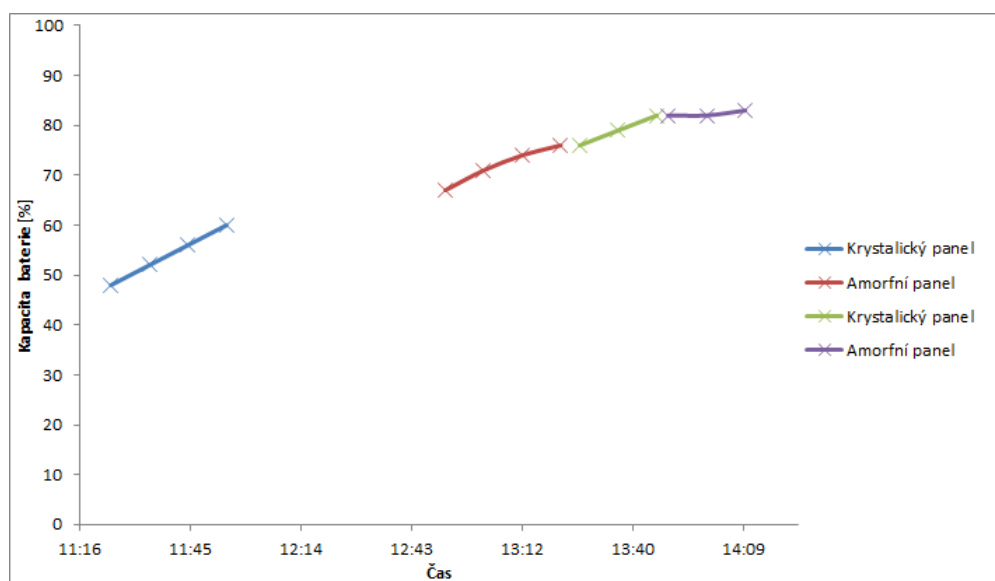
Obrázek 47: Polykrystalický panel - 3. část měření



Obrázek 48: Amorfnní panel - 4. část měření



Obrázek 49: AC nabíjení



Obrázek 50: Nabíjení z panelů

Pomocí panelů se kapacita baterie za každých 10 min zvyšuje přibližně o 3 až 4 %. Pro srovnání rychlosti nabíjení bylo měření i přes AC nabíječku, kde to je o 4 až 5 % za 10 min. Hodnoty z grafů viz obr. 49 a 50 jsou uvedeny v tab. 3.

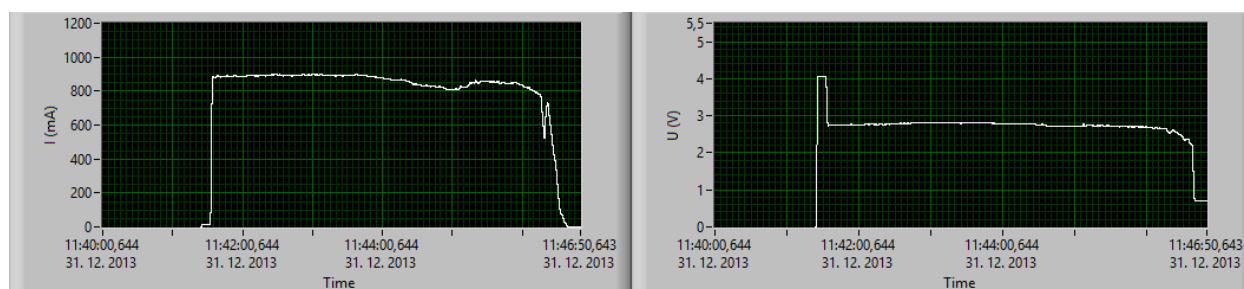


Tabulka 3: Nabíjení mobilního telefonu

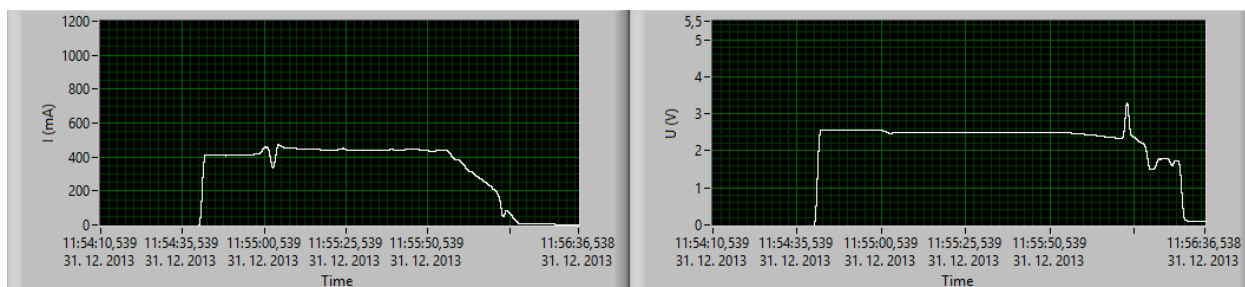
AC nabíjení									
Kapacita baterie [%]	54	59	63	68	73	77	81	85	88
Čas	1:23	1:33	1:43	1:55	2:10	2:20	2:30	2:40	2:50
Polykrystalický panel									
Kapacita baterie [%]	48	52	56	60			76	79	82
Čas	11:25	11:35	11:45	11:55			13:27	13:37	13:47
Amorfní panel									
Kapacita baterie [%]	67	71	74	76			82	82	83
Čas	12:52	13:02	13:12	13:11			13:50	14:00	14:10

4.4 Měření při maximálním výkonu

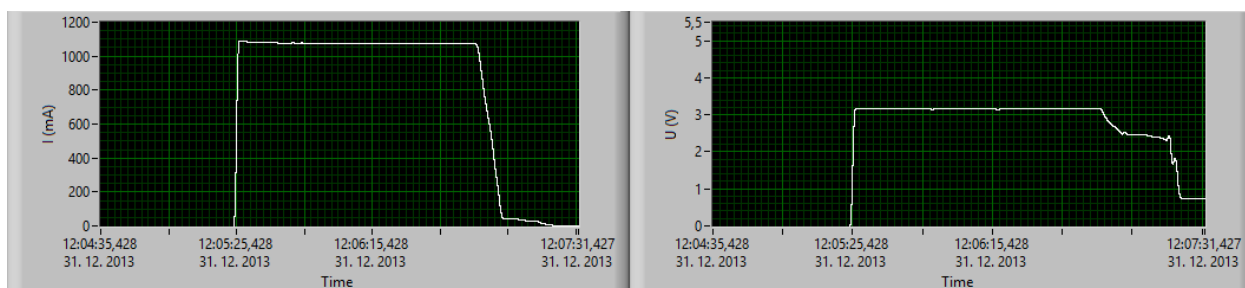
Zde je měření při maximálním výkonu mobilního telefonu. Zjištění odběru proudu a napětí, vliv dopadu světla na panel. Vždy ke konci grafu je provedeno postupné zakrývání panelů.



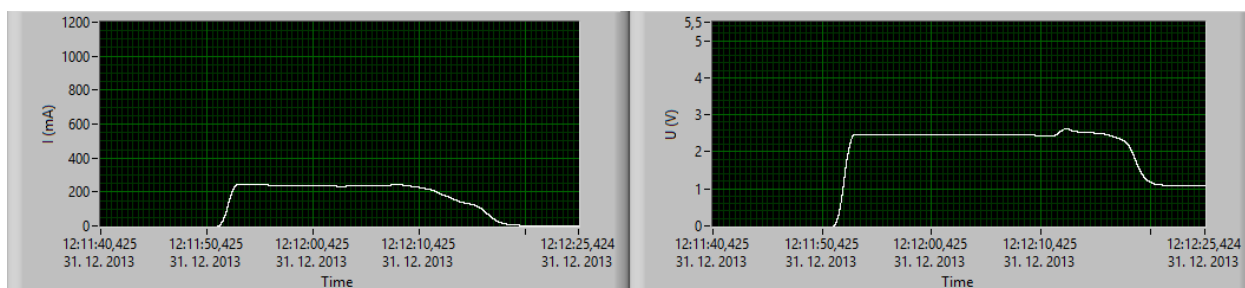
Obrázek 51: Amorfní panel - přímé osvětlení



Obrázek 52: Amorfní panel - vodorovná poloha



Obrázek 53: Polykrystalický panel - přímé osvětlení



Obrázek 54: Polykrystalický panel - vodorovná poloha



5 Závěr

První část bakalářské práce se zabývá historií a principem fotovoltaických článků. Dále bylo zjistit, jaké druhy článků existují. Nejúčinnější běžně dostupné články jsou z monokrystalického křemíku. Nejlepší poměr účinnosti cena jsou z polykrystalického křemíku. Nejlevnější variantou je tenkovrstvá technologie, mají přibližně poloviční účinnost ve srovnání s krystalickými články. U krystalických článků vlivem rostoucí teploty klesá účinnost, u tenkovrstvého článku se téměř nemění.

V druhé části je popisována stavba fotovoltaických panelů z polykrystalických a amorfních článků. Při stavbě z polykrystalických křemíkových článků je vždy lepší jich mít více, protože jsou velice křehké a lze snadno poškodit. U ohebných amorfních článků tento problém nenastane. Rozdíl špičkového výkonu u obou panelů je 1,2 Wp.

V třetí části je popsáno použití vývojového programu LabVIEW a multifunkční karty NI USB-6008. V programu byl vytvořen obvod na měření napětí a proudu. Hodnoty jsou zobrazeny v grafech a automaticky uloženy do souboru. Které lze dále zpracovat v Excelu.

V poslední části se provádí důkladné měření panelů, nejprve jsou porovnány vlastnosti obou panelů. Poté se měří nabíjení mobilního telefonu. U polykrystalického panelu je průběh napětí a proudu téměř identický s AC nabíjením. Z přechozího srovnání je u amorfního panelu větší odběr proudu, to způsobuje Step Up obvod, protože napětí se musí zvýšit z 3 V na 5 V. U dvou posledních grafů při nabíjení mobilního telefonu dochází k částečnému zastínění panelů. Dále se měří maximální odebíraný proud a napětí, při plném výkonu mobilního telefonu. Porovnává se i vodorovná poloha panelu, kde nedopadá kolmo světlo. U amorfního panelu nedochází rychle ke snížení účinnosti vlivem postupnému zakrývání, jako u polykrystalického.

Všechna měření jsou ze zimního období, kdy fotovoltaické články nemají vysokou účinnost, protože slunce nemá takovou intenzitu jako v letním období.

Bakalářskou práci jsem napsal v sázecím systému LaTeX.



Literatura

- [1] Solar cell. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_cell
- [2] Vanguard 1. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Vanguard_I
- [3] Explorer 6. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Explorer_6
- [4] Solární (fotovoltaické) články. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [5] Czochralski process. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski_process
- [6] Monokrystalický článek. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://www.ebay.com/itm/US-made-125x125-Monocrystalline-Solar-Cells-2-8-Watt-Mono-5x5-Photovoltaic-wafer-/251017778383?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item3a71d354cf
- [7] Monokrystalické či polykrystalické panely. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://stavitel.ihned.cz/c1-43433570-monokrystalicke-ci-polykrystalicke-panely>
- [8] Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40646
- [9] Alternativní technologie - amorfní křemík. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.solareni.cz/slunecni-elektrarny/technicke-informace/alternativni-technologie-amorfni-kremik/>
- [10] Technologie amorfních tenkovrstvých článků a produkt General Solar PV. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.ibpartner.cz/amorfni.html>



- [11] Tenkovrstvé FV technologie. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.votum.cz/Thin-film/>
- [12] 2012 Top Solar "Module"Manufacturers Worldwide. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://solarcellcentral.com/companies_page.html
- [13] CdTe Technologie. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.votum.cz/technologie-cdte/>
- [14] Solar cell guide, an introduction. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://sinovoltaics.com/solar-basics/solar-cell-guide-an-introduction/>
- [15] Nové technologie pro levné i výkonné solární články. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/nove-technologie-pro-levne-i-vykonne-solarni-clanky>
- [16] Organická a tištěná elektronika dobývají svět. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/nove-technologie-pro-levne-i-vykonne-solarni-clanky>
- [17] Phillips 66 and Solarmer Develop World's Most Efficient Polymer-Based Organic Solar Cell. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <https://www.pinterest.com/pin/528610074982940500/>
- [18] SHARP vyvinul solární článek s nejvyšší konverzní účinností na světě ve výši 36,9% [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/2010/index.php?rs=4&rl=2011110701&rm=91:192>
- [19] A cutting edge solar hybrid techonology. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://www.worldarchitecturenews.com/index.php?fuseaction=wanappln.projectview&upload_id=14490
- [20] Polykrystalický článek. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://www.ebay.com/itm/45-2-x-3-solar-cells-5-V-x-1-2-A-21-watts-/180692857260?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item2a122231ac



- [21] Brilant. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.brilantjbc.cz/cz/nabidka>
- [22] MS Unifix. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.echemie.cz/ms-unifix-na-vsechna-tmeleni-a-lepeni>
- [23] Propojovací pásek. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.ebay.de/itm/10m-Kupferband-Solarzellenverbinder-Solarzellen-tab-solar-cell-B-2-0-%mm-/251232112734?pt=Solaranlagen&hash=item3a7e99d05e>
- [24] Flexibilní amorfní článek. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: http://www.ebay.com/itm/0-8W-2V-Flexible-Solar-Panel-for-cell-battery-1mm-DIY-/230907353184?pt=LH_DefaultDomain_0&hash=item35c3269860
- [25] Ing. VLACH, Jaroslav; HAVLÍČEK, Josef; VLACH, Martin: *Začínáme s LabVIEW*. Praha : BEN, 2008, 978-80-7300-245-9.
- [26] Měřicí karty. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://czech.ni.com/merici-karty>
- [27] Ing. VLACH, Jaroslav: *Multifunkční karta a její aplikace*. Automatizace, ročník 51, číslo 12/2008.
- [28] Multifunkční karta NI USB-6008. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://sine.ni.com/ds/app/doc/p/id/ds-218/lang/de>
- [29] Apple and other USB charger secrets. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.epanorama.net/blog/2010/08/18/apple-charger-secrets/>
- [30] DC-DC Converter Step Up Boost Module 3V to 5V 1A USB Charger for MP3/MP4 Phone. [online]. [cit. 2013-12-21]. Dostupné z: <http://www.ebay.com/itm/DC-DC-Converter-Step-Up-Boost-Module-3V-to-5V-1A-USB-Charger-for-MP3-%MP4-Phone-/261097668334?ssPageName=ADME:X:AAQ:US:1123>